

基于 STM32 的自主巡线小车的设计

季文飞 戴可为 张继旋 周子翔 钱茹*

东南大学成贤学院

DOI:10.32629/acair.v3i4.17937

[摘要] 本文的研究目标是设计一款精准稳定、环境适应性强的STM32自主巡线小车。项目核心围绕小车的路径跟踪与智能控制展开,以STM32F103RCT6微控制器为控制核心,搭载红外与光电复合巡线传感器采集路径信息,通过自适应PID控制算法动态调整行驶参数,实现复杂线路(含直线、弯道、交叉线)的精准循迹。同时集成超声波传感器与触觉传感器构建双重避障机制,搭配智能电源管理系统优化能耗分配,延长续航时长。小车支持通过蓝牙/低功耗Wi-Fi模块实现远程监控与参数调试,内置故障诊断功能可实时反馈运行状态。最终实现小车自主巡线、智能避障、远程管控等核心功能,为工业物料运输、实验室实训等场景提供高效可靠的自动化解决方案。

[关键词] 自主巡线小车; stm32; PID算法; ROI算法

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A

Design of Autonomous Line-Following Car Based on STM32

Wenfei Ji Kewei Dai Jixuan Zhang Zixiang Zhou Ru Qian*

Southeast University Chengxian College

[Abstract] This study aims to design an STM32-based autonomous line-following robot with high precision, stability, and strong environmental adaptability. The core of the project focuses on the robot's path tracking and intelligent control, adopting the STM32F103RCT6 microcontroller as the control core. Equipped with a composite line-following sensor (integrating infrared and photoelectric technologies) for path information collection, the robot dynamically adjusts driving parameters through an adaptive PID control algorithm to achieve accurate tracking of complex routes (including straight lines, curves, and intersections). Meanwhile, it integrates ultrasonic sensors and tactile sensors to construct a dual obstacle avoidance mechanism, and is paired with an intelligent power management system to optimize energy distribution and extend battery life. The robot supports remote monitoring and parameter debugging via Bluetooth/Low-Power Wi-Fi modules, with a built-in fault diagnosis function for real-time feedback of operational status. Ultimately, the robot realizes core functions such as autonomous line following, intelligent obstacle avoidance, and remote control, providing an efficient and reliable automated solution for scenarios like industrial material transportation and laboratory training.

[Key words] Autonomous patrol car; stm32; PID algorithm; ROI algorithm

随着工业智能化与自动化升级,各领域对高效精准低耗作业的需求日益迫切,传统人工巡检、手动运输效率低、成本高、精度不足,难以适配复杂环境连续作业;早期简易巡线设备依赖单一传感器与基础控制逻辑,巡线误差大、环境适应性弱,无法满足高性能要求。而传感器技术、智能控制算法的优化,以及微控制器、远程监控等软硬件的发展,为自主巡线小车研发提供了坚实支撑。因此,研发融合多技术优势、性能更优的自主巡线小车,成为弥补传统方式缺陷、响应自动化发展需求的必然选择。

1 系统总设计方案

本文研究设计的自主巡线小车,采用STM32F103RCT6系列微控制器作为主控芯片,该芯片基于ARM Cortex-M3内核,主频高达72MHz,具备强大的运算处理能力与灵活的外设控制能力,可高效支撑复杂算法运行与多模块协同工作。主控板仅引出系统必需的核心引脚,包括用于传感器数据传输的信号接口、应对紧急情况的外部中断接口,以及用于扩展功能的普通IO接口等,精简布局的同时保障了接口的稳定性与易用性。

本文小车可以实现的功能如下:

(1) 自主巡线: 小车以主板STM32F103RCT6作为核心, 通过红外、光电等传感器感知地面预设引导线, 将采集到的信号传输至主控芯片, 经PID控制算法分析偏移量后, 输出指令调整电机转向与速度, 无需人工干预即可沿预定路线稳定行驶。

(2) 自主避障: 小车通过超声波、红外及触觉传感器, 实时采集障碍物距离、轮廓等信息并传输至主控芯片。芯片结合巡线路径数据快速决策, 向电机驱动模块输出指令, 实现绕障行驶或紧急制动, 实时规避路径中障碍物, 保障作业安全与连续性。

(3) 自主返回: 当小车执行完程序后且电池电量不足时, 可以自行返回充电处, 减少人力判断。

(4) 视觉识别: 将摄像头捕捉到的图像与数据库中已经存储的障碍物图像进行对比分析, 从而达到识别物体的功能, 为下一步的行动做准备。

2 硬件的选择及电路设计

2.1 供电模块

DC-DC降压模块: 主降压电路采用LM2596-5V降压模块, 将12V电池电压转换为稳定5V输出, 输出电流可达3A, 为高功耗部件供电。二次降压电路: 用AMS1117-3.3V LDO稳压器, 将5V电压转换为3.3V, 输出电流500mA, 为精密电子元件供电, 且采用独立供电电路为电机与精密模块供电, 支路间串联磁珠滤波, 减少电机启动时产生的电压波动对传感器、芯片的干扰, 每条支路还串联自恢复保险丝, 防止支路短路导致整体供电故障。

2.2 电机驱动模块

由四个电机驱动模块BT7971分别控制小车四个麦克纳姆轮, 如图1所示。车轮的转速由输入模块3脚与2脚的电压差决定, 其中3脚输入的电压为固定值3.3V, 2脚输入的电压数值由单片机直接进行控制。通过调节四个轮子的正反转速实现对小车的控制。

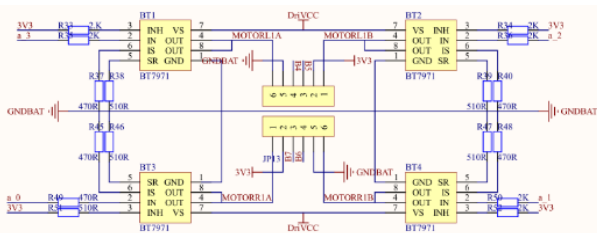


图1 电机驱动模块电路图

2.3 麦克纳姆轮运动组件

本设计采用麦克纳姆轮与四组电机驱动单元, 搭建巡线小车移动系统, 实现平面内任意方向平移与旋转。麦克纳姆轮的核心特点是轮毂内置辘子, 其轴线与轮毂轴线呈45度夹角且周向交错分布, 电机驱动轮毂旋转时, 辘子与地面的侧向摩擦力转化为推力, 带动轮子定向运动。通过差异化布局四个麦克纳姆轮, 独立调节各轮转速与转向, 即可实现全向运动: 对角两轮反向、另一组对角轮正向转动时, 小车横向平移; 调整相邻两轮转向组合, 可驱动小车绕自身中心旋转。这种多轮协同控制, 提升了小车复杂场景下的移动适应性、避障灵活性与运动可控精度。

2.4 无线模块

ESP8266是一款集成度高的Wi-Fi通信芯片, 工作在2.4GHz全球通用的ISM频段。它能够作为单片机系统的数据传输接口, 将单片机采集到的各类传感器数据通过Wi-Fi网络发送出去。这些数据经过路由器转发后, 最终可以传输到连接网络的电脑上。

2.5 屏幕选择

OLED屏幕凭借自发光特性, 具备更高对比度与更丰富的色彩表现, 能够让用户清晰地观测到小车当前的路况信息。其次, 与传统液晶显示屏相比, OLED屏幕无需背光, 工作时能耗更低, 产生的热量也更少, 有助于延长小车的电池使用寿命。

2.6 摄像头

摄像头选用了K230, 用于道路检测识别与障碍捕捉。K230的硬件ISP与高动态范围性能, 有效提升了小车的速度上限和道路识别的准确性。K230则凭借高清晰度与低功耗的优势, 能自动优化图像质量, 搭配简单代码即可实现拍摄、参数调节等功能, 为图像识别和设备制作带来了便利。

3 软件设计

3.1 巡线系统设计

小车程序实现了自主巡线功能: 小车上电, 系统初始化, 然后各个传感器开始工作, 主板分析摄像头接收到的图像, 开始分析偏差, 当出现偏差时, 算法会介入调整, 控制电机驱动调整方向, 从而使小车回归路径。

3.2 颜色识别+ROI分块加权分析+偏移角控制

3.2.1 颜色阈值识别法

颜色阈值预设: 针对黑色巡线, 在HSV颜色空间预设阈值范围(0, 40, -10, 23, -10, 10), 利用黑色低亮度(V)、特定饱和度(S)和色相(H)的特征, 初步筛选出潜在的巡线区域。

色块检测与筛选: 调用img.find_blobs()函数寻找符合阈值的色块, 并通过x_stride=15、y_stride=15、pixels_threshold=25等参数减少计算量和过滤噪声。随后, 仅保留宽度大于10、高度大于5的色块, 以排除虚线断点、污渍等干扰, 确保识别准确性。

可视化标记: 在图像上对有效色块进行标记: 用绿色矩形框标出其范围, 用蓝色十字标记其质心, 并标注对应的ROI编号, 方便开发者直观查看效果和后续调试参数。

3.2.2 ROI分块加权分析

ROI区域划分: 将摄像头视野(默认分辨率下)垂直划分为3个连续的矩形ROI, 每个ROI的参数包含“位置(x, y)、尺寸(w, h)、权重、编号”, 具体设置为: 底部ROI(0, 160, 320, 20, 0.25, 1)、中部ROI(0, 80, 320, 20, 0.2, 2)、顶部ROI(0, 0, 320, 20, 0.1, 3)。这种划分方式覆盖了从车头正前方到稍远区域的区域, 确保能全面捕捉路径信息。

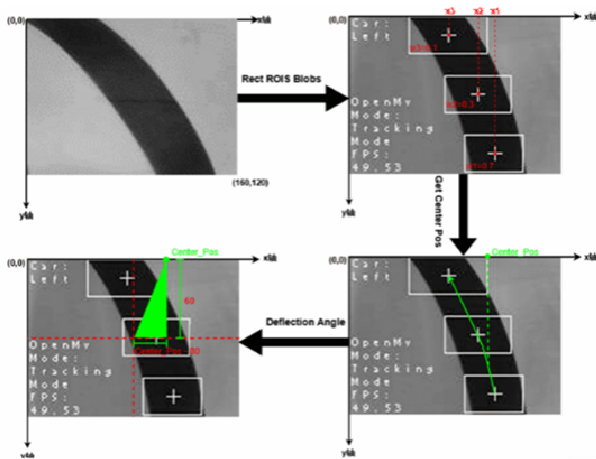
加权计算巡线中心: 对每个ROI, 找到其中面积最大的有效色块后, 提取色块的质心x坐标(即largest_blob.cx()), 并乘以该ROI的权重(如底部ROI乘以0.25), 将所有ROI的“x坐标×权重”结果求和, 再除以所有权重之和, 得到巡线的加权中心位置(center_pos)。底部ROI权重最高(0.25), 是因为其对应小车正

前方的近程路径,对当前转向决策影响最大;顶部ROI权重最低(0.1),主要用于提前捕捉远处路径的弯曲趋势,避免小车因反应滞后偏离路径。

3.2.3 偏移角计算与电机控制

偏移角计算:以摄像头视野正中心(x=160)为基准,通过巡线加权中心位置(center_pos)判断偏差方向——大于160需左转,小于160需右转。利用公式计算弧度偏移角并转换为角度值deflection_angle,其绝对值越大偏移越严重。电机速度动态调节:偏移角<0(右转)时右电机增速、左电机减速,>0(左转)时相反,偏移角越大速度差越明显;绝对值超20°时基础速度降至80%防失控,丢失巡线则四电机停机。系统采用闭环控制,视觉模块循环“采集图像-更新偏移角-调整速度”,实时修正偏差,保障小车沿巡线稳定行驶。

3.3 Pid控制算法设计



PID控制技术是适用于响应缓慢、工作周期较长的惯性系统的闭环控制算法,其核心通过比例(P)、积分(I)、微分(D)三个环节综合处理系统误差以生成控制信号,数学模型为 $u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(\tau) d\tau + K_d * de(t)/dt$ (其中 $u(t)$ 为控制器输出控制量, $e(t)$ 为设定值与反馈值的控制偏差, K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分增益);比例环节能按当前误差即时做出修正响应,积分环节可消除静差、提高系统无差度但会延长响应时间,微分环节则能预判误差变化趋势并提前引入修正值,三者配合

经合理整定参数,可兼顾系统响应速度、控制精度与稳定性。

PID控制算法整合了比例、积分与微分三种控制模式,比例控制聚焦瞬时偏差并即时响应,积分控制专门消除稳态误差以提升控制精度,微分控制则针对偏差变化速率较快的场景提前预判调节,通过对这三种控制模式的科学搭配与参数优化,可实现对被控对象的精准管控。

4 结语

本文完成了基于STM32F103RCT6的自主巡线小车设计,通过软硬件协同,实现了自主巡线、智能避障、视觉识别等核心功能,可满足工业物料运输、实验室实训等场景的自动化需求。

硬件上,分级供电、BT7971驱动麦克纳姆轮及多传感器组合,保障了系统稳定、运动灵活与感知精准;软件中,颜色阈值+ROI加权分析的路径检测法,结合自适应PID控制算法,有效提升了循迹精度与行驶稳定性。

后续可从三方面优化:引入机器学习提升识别精度,探索高效硬件方案缩减体积、延长续航,增加多车协同模块,进一步拓展其在仓储物流、智能巡检等场景的应用价值。

[参考文献]

- [1]常欣,王琦.用STM32和ESP8266实现的可扩展物联网系统[J].单片机与嵌入式系统应用,2018,18(12):58-61.
- [2]陈再良,邹北骥,黄敏之,等.图像亮度特征对ROI提取的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(01):208-214.
- [3]周柱.基于STM32的智能小车研究[D].西南交通大学,2011.
- [4]彭刚,秦志强.基于ARMCortex-M3的STM32系列嵌入式微控制器应用实践[M].电子工业出版社,2011.01:352.
- [5]孙书鹰,陈志佳,寇超.新一代嵌入式微处理器STM32F103开发与应用[J].微计算机应用,2010,31(12):59-63.

作者简介:

季文飞(2004--),男,汉族,江苏淮安人,本科,研究方向:机械设计制造及其自动化。

*通讯作者:

钱茹。